

Roman MAREK¹, Barbara LUŇÁČKOVÁ²

ZOHLEDNĚNÍ DYNAMICKÝCH ÚČINKŮ DOPRAVY V NÁVRHU ZATÍŽENÍ KOLEKTORU DYNAMIC EFFECT OF TRAFFIC INSERTION INTO LOADING DESIGN OF UTILITY TUNNEL

Abstract

It's a difficult problem take into account dynamic effects of surface traffic which takes effect on door case of collector reveal. Often in projects, these effects are missed out or are taken into account by different, less or more real coefficients. The checking of influence dynamic effects, realty alternative coefficients, their significance and way to implement them to total load door case of collector reveal is a principal aim.

On the basic measurements dynamic quantity tram traffic in-situ was created a mathematic model by Plaxis 2D. This system manages by dynamic scale, which can solve dynamic problems by FEM.

Key words: dynamic loading, utility tunnel, FEM

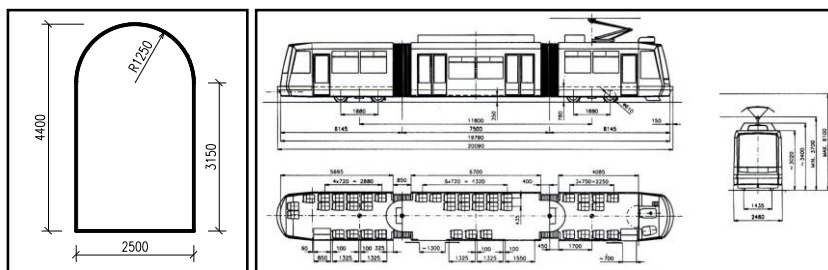
Úvod

Zohlednit dynamické účinky povrchové dopravy na ostění kolektoru je nesnadným úkolem. V praktických řešeních se nejčastěji tyto účinky zanedbávají nebo se zohledňují pomocí různých, méně či více reálných koeficientů. Cílem studie bylo ověřit vliv dynamických účinků a reálnost alternativních koeficientů, jejich hodnotu a způsob zaimplementování do celkového zatížení ostění kolektoru.

Na základě měření dynamických veličin od tramvajové dopravy v in-situ byl vytvořen matematický model programovým systémem Plaxis 2D disponujícím dynamickým modulem, který umožňuje řešení dynamických úloh pomocí MKP.

Modelový případ

Konkrétním vyšetřovaným případem byla odezva tramvajové dopravy na kolektor „Centrum“ v Ostravě – základní geometrie viz. obr. 1. Tramvajový vůz, jehož dynamické účinky byly zaznamenávány registrační aparaturou GCR-16 (Kaláb et al., 2007), byl typu ASTRA 10.08, což je čtyřnápravová, nízkopodlažní tramvaj o celkové hmotnosti 24200 kg - viz. obr. 2.



Obr.1 a 2 Základní geometrie kolektoru (vlevo) a tramvaje (vpravo).

¹ Ing., VŠB – TU Ostrava, fakulta stavební, L. Podéšť 1875, Ostrava - Poruba, marek_roman@post.cz

² Ing., VŠB – TU Ostrava, fakulta stavební, L. Podéšť 1875, Ostrava - Poruba, barbara.lunackova@vsb.cz

Numerický model

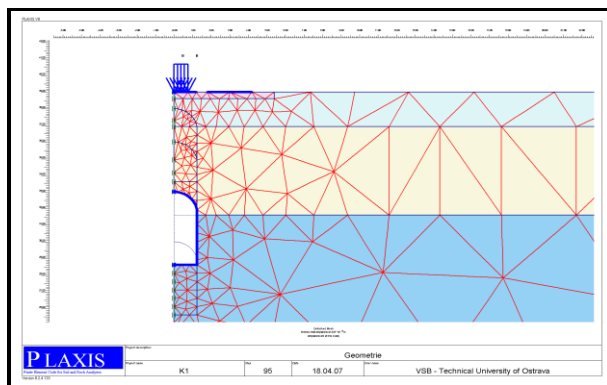
Numerický model, osově symetrický, byl vytvořen v programovém systému Plaxis 2D (MKP), který umožňuje simulovat dynamické působení pomocí dynamického modulu, jež je jeho součástí.

Vrstevnaté zeminové prostředí odpovídá charakteristické geologii pro dané území. Fyzikální vlastnosti zemin spolu s mocnostmi jednotlivých vrstev jsou v tab. 1. Vliv podzemní vody není, z důvodu částečného zjednodušení, uvažován.

Tab.1 Uvažované zeminové prostředí.

Name	Mocnost [m]	γ [kN/m ³]	ν [-]	E_{ref} [kN/m ²]	c_{ref} [kN/m ²]	ϕ [°]
GW	0,04	20	0,25	300000	0	40
Y	2,20	19,5	0,4	9000	8	26
CV	5,20	19,9	0,4	9000	10	17
CL	-	19,9	0,35	18500	14	17

Geometrie osově symetrického modelu, který umožňuje zanedbání materiálových parametrů tlumení, odpovídá konkrétnímu místu měření dynamických účinků projíždějící tramvaje. V bezprostřední blízkosti kolejového lože se nachází konstrukce vozovky, kolektor je situován 6m pod povrchem. Schéma viz. obr. 3.



Obr.3 Základní schéma modelu.

Zatížení, podílející se na velikosti vnitřních sil a momentů, pomocí kterých následně bude vliv dynamických účinků vyhodnocován, je v počáteční fázi kombinací statického a dynamického účinku od tramvaje a samozřejmě geostatického účinku od zemního tlaku.

Primární napjatost je generována programovým systémem automaticky na základě vlastností uvažovaných zemin a jejich mocnostech.

Statický účinek byl stanoven ze znalosti maximální hmotnosti částečně obsazené tramvaje připadající na jednu nápravu v hodnotě 7000kg. Z toho statické zatížení pak:

$$q = \frac{F}{A} = \frac{70000}{1,5 \cdot 1} = 46,67 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}, \text{ kde}$$

A ... plocha působení (rozchod tramvaje x 1m) [m²]

F... síla [kN]

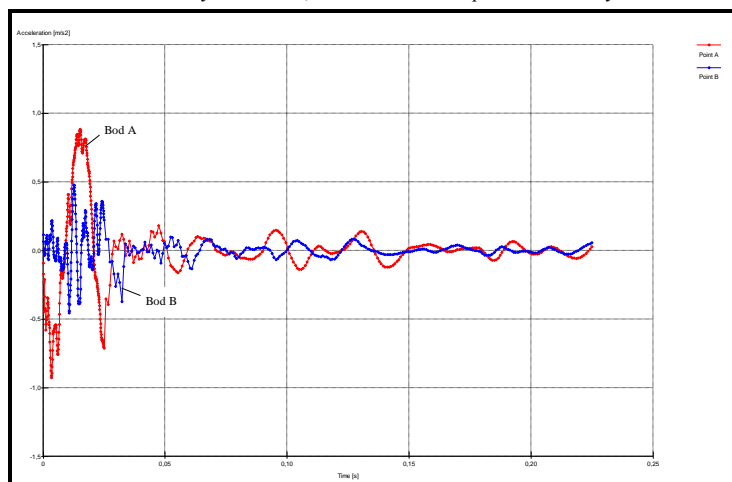
Nejsložitějším problémem bylo stanovit dynamický účinek tramvaje. K dispozici, jak už bylo dříve řečeno, byla data z měření v in-situ. Experimentální seismická měření probíhala ve dvou fázích, kdy jeden akcelerační senzor byl umístěn na okraji přilehlé vozovky ve vzdálenosti cca 1,8m od okraje modelu (bod B), což je 1m od přilehlé tramvajové kolejnice. Druhý senzor byl umístěn na ostění ve vrcholu kolektoru, cca 6m pod kolejovým svrškem (bod E). Maximální hodnoty zrychlení měřené na povrchu byly ve směru osy z a nepřesáhly hodnotu $0,463\text{m.s}^{-2}$. Převládající frekvence zrychlení se pohybovala v rozsahu 42-68Hz. Na ostění v kolektoru se hodnoty zrychlení pohybovaly v desetinách těchto hodnot (Kaláb et al., 2007).

Pro potřeby matematického modelu však bylo nutné zjistit zdrojové veličiny zrychlení a příslušné převládající frekvence zrychlení projíždějící tramvaje. Tyto neznámé se do výpočtů zaimplementují ve formě silového účinku od zrychlení kmitání vlivem seismického působení, příslušnou frekvencí a fázovým posunem (Luňáčková, 2007). Fázový posun v tomto případě není uvažován. Zbývající dvě neznámé vycházejí z parametrických výpočtů. Silový účinek byl stanoven na 3,7 kN.

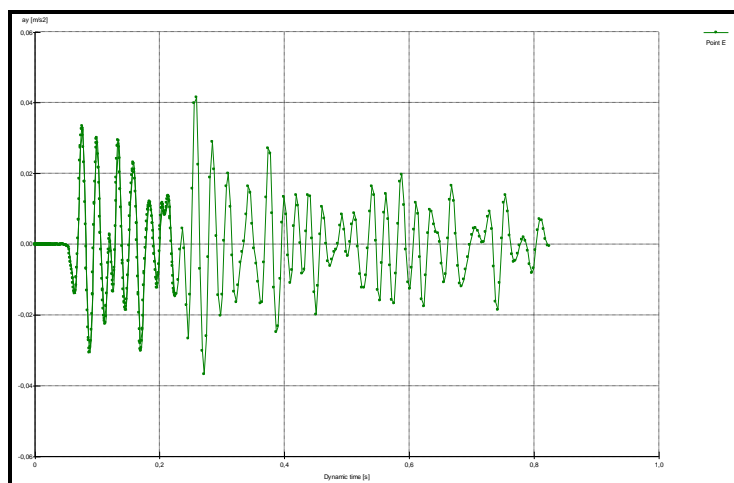
Zdrojová frekvence zrychlení kmitání byla uvažována $f = 40\text{Hz}$. Časový interval odpovídající dynamickému působení byl

$$t = \frac{1}{f} = \frac{1}{40} = 0,025\text{s}$$

Ověření správnosti určení zdrojových veličin bylo učiněno srovnáním naměřených a vypočtených hodnot zrychlení kmitání v bodě B a E. Z grafu 1 vyplývá, že v bodě B nepřesáhlo maximální zrychlení ve svislém směru hodnotu $0,5\text{m.s}^{-2}$. Zdrojové zrychlení kmitání v bodě A, který se nachází v působišti dynamického zatížení, dosáhlo téměř $0,9\text{m.s}^{-2}$. Graf 2 pak znázorňuje útlum zrychlení kmitání ve směru osy z v bodě E, což řádově také odpovídá naměřeným hodnotám.



Graf 1 Závislost zrychlení kmitání na čase v bodě A a B.



Graf 2 Závislost zrychlení kmitání na čase v bodě E.

Analýza vlivu dynamických účinků

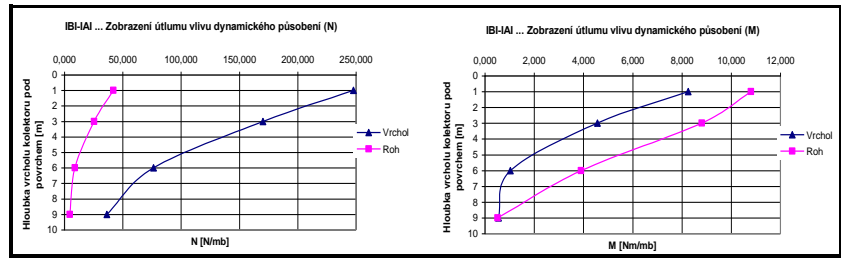
Výpočty a analýza probíhaly ve třech fázích a ve čtyřech různých hloubkách založení kolektoru. V první fázi byl sledován pouze vliv geostatického a statického zatížení na vývoj vnitřních sil a momentů v ostění kolektoru, a to v jeho vrcholu a rohu. V druhé části byl zohledněn i vliv dynamického zatížení a ve třetí části byl tento dynamický účinek nahrazen alternativními koeficienty. Mocnost nadloží nad vrcholem kolektoru se pohybovala v rozmezí 1÷9m.

Výstupy první a druhé fáze výpočtů jsou shrnuty v tabulce 2. V prvním a druhém oddílu jsou vybrány maximální hodnoty daných veličin v daném místě, v případě statického+dynamického zatížení jsou to maximální hodnoty i v čase maximální odezvy dynamického působení na kolektor. Ve třetím oddílu je vypočten rozdíl absolutních hodnot z první a druhé fáze působení, který určuje o kolik dynamické zatížení zvýší vnitřní síly a momenty ve výztuži oproti prvnímu zatěžovacímu stavu. Dá se konstatovat, že toto navýšení je vzhledem k maximálním hodnotám velice malé.

Tab.2 Početní vyhodnocení první a druhé fáze modelování.

Oddíl 1				Oddíl 2				Oddíl 3			
Vrchol: Statické ... A				Vrchol: Statické+dynamické ... B				Vrchol: B - A			
Mocnost nadloží nad kolektorem				Mocnost nadloží nad kolektorem				Mocnost nadloží nad kolektorem			
	N	Q	M		N	Q	M		N	Q	M
	[kN/m]	[kN/m]	[kNm/m]		[kN/m]	[kN/m]	[kNm/m]		[N/m]	[N/m]	[Nm/m]
1	-30,410	-2,640	0,267	1	-30,658	-2,644	0,275	1	247,903	4,226	8,262
3	-45,552	-3,973	-0,156	3	-45,722	-3,976	-0,161	3	170,232	2,293	4,572
6	-77,950	-6,819	0,204	6	-78,026	-6,821	0,205	6	76,366	2,083	1,030
9	-112,594	-9,848	0,440	9	-112,631	-9,847	0,440	9	36,400	-0,711	0,554
Roh:				Roh:				Roh:			
Mocnost nadloží nad kolektorem				Mocnost nadloží nad kolektorem				Mocnost nadloží nad kolektorem			
	N	Q	M		N	Q	M		N	Q	M
	[kN/m]	[kN/m]	[kNm/m]		[kN/m]	[kN/m]	[kNm/m]		[N/m]	[N/m]	[Nm/m]
1	-58,063	51,934	-15,880	1	-58,105	51,944	-15,891	1	41,914	10,374	10,811
3	-78,826	69,032	21,182	3	-78,851	69,071	21,190	3	25,578	38,656	8,808
6	-116,384	95,966	-30,614	6	-116,393	95,989	-30,618	6	9,060	22,262	3,900
9	-153,108	126,048	-40,060	9	-153,112	126,058	-40,060	9	4,650	10,460	0,512

Grafickým zobrazením závislosti rozdílu normálových sil a momentů v oddílu 3 na hloubce nadloží kolektoru dostaneme např. charakter útlumu dynamické odezvy od tramvaje. Z něj vyplývá, že v hloubce 9m je už rozdíl jen v řádech maximálně jednotek Newtonů, jak můžeme vidět v grafu 3, což je prakticky zanedbatelná velikost.



Graf 3 Zobrazení útlumu dynamické odezvy od tramvaje.

Alternativní přístup řešení problému pomocí dynamických součinitelů

Nejjednodušším přístupem zohlednění dynamických účinků v praktických úlohách je začlenění těchto vlivů do celkového zatížení pomocí systému dílčích součinitelů, kdy návrhová hodnota vychází z charakteristické hodnoty a právě těchto součinitelů. Pro daný případ lze uvést následující součinitele zohledňující vliv dynamického působení na ostění kolektoru vlivem tramvajové dopravy:

- ☐ **Součinitel δ_i dle ČSN 73 6203** - tento dynamický součinitel vychází z normy pro zatížení mostů a dá se alternativně použít i pro zatížení kolektorů vlivem dopravy a má tvar:

$$\delta_i = \left[1 + 0,85 \cdot (\delta - 1) \right] - \delta', \text{ kde } \delta = \frac{2,16}{\sqrt{L_d} - 0,2} + 0,73$$
$$\delta' = 0,1 \cdot (h - 0,5) \cdot 1,5, \text{ kde}$$

L_d ... náhradní délka nosné kce (šířka kolektoru) [m]

h ... výška nadloží [m]

Po dosazení bude tento součinitel nabývat hodnot, které jsou uvedeny v tab. 3 a do výpočtů celkového zatížení je zpracován ve formě tzv. kvazistatického zatížení, jehož velikost odpovídá součinu statického účinku tramvaje a dynamického součinitele δ_i . Výhodou tohoto součinitele je, že zohledňuje vliv nadloží.

Tab.3 Hodnoty součinitele δ_i

Hloubka [m] (od povrchu ke stropu)	δ' [-]	δ_i [-]
1	0,075	2,03 \Rightarrow 1,80
3	0,37	1,73
6	0,82	1,28
9	1,275	0,83 \Rightarrow 1,00

- **Součinitel γ_a** – je alternativním přístupem, který vyjadřuje vzájemný vztah mezi zrychlením kmitání a gravitačním zrychlením. Má tvar:

$$\gamma_a = \frac{a_d + g}{g}, \text{ kde}$$

a_d ... zdrojové zrychlení kmitání [m.s^{-2}]

g ... gravitační zrychlení $\sim 9,80665 \text{ m.s}^{-2}$

Uvažujeme-li hodnotu zdrojového zrychlení kmitání $a_d=0,9 \text{ m.s}^{-2}$, bude pak součinitel $\gamma_a=1,09$. Do výpočtu může být zaimplementován opět pomocí kvazistatického zatížení nebo variantně může upravovat geotechnické veličiny.

Srovnáme-li velikost součinitelů γ_a a δ_i , je na první pohled patrné, že γ_a ani zdaleka nenabývá hodnot δ_i . Pokud tedy tento součinitel γ_a dostatečně nahradí dynamické účinky dopravy na kolektor, budeme moci stejně tak konstatovat, že tomuto předpokladu vyhoví i prvně jmenovaný součinitel.

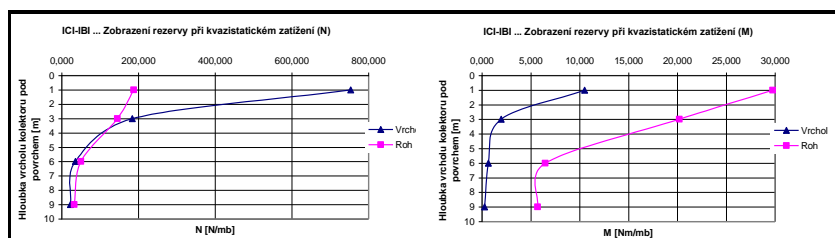
Kvazistatické zatížení, kterým bylo nahrazeno dynamické a statické zatížení od tramvaje je pak:

$$q_{kv} = q \cdot \gamma_a = 46,67 \cdot 1,09 = 50,87 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

Toto zatížení bylo simulováno ve třetí fázi matematického modelování. Maximální velikosti vnitřních sil a momentů ve vrcholu i v rohu kolektoru byly vždy vyšší než v případě předchozích fází, kdy byl simulován nejprve jen statický a posléze také statický+dynamický účinek, což je shrnuto v tab. 4., oddíl 5. V této tabulce, v oddíle 6, je dále spočten rozdíl absolutních hodnot vnitřních sil a momentů kvazistatického vs. statického+dynamického účinku zatížení kolektoru tramvají. Tento rozdíl, jež je graficky znázorněn v grafu 4, můžeme označit rezervou součinitele γ_a proti „skutečnému“ dynamickému účinku tramvaje.

Tab.4 Početní vyhodnocení třetí fáze modelování.

Oddíl 5				Oddíl 6			
Vrchol: kvazistatické ... C				Vrchol: ICI - IBI			
Mocnost nadloží nad kolektorem	N [kN/m]	Q [kN/m]	M [kNm/m]	Mocnost nadloží nad kolektorem	N [N/m]	Q [N/m]	M [Nm/m]
1	-31,411	-2,726	0,285	1	753,268	81,9139	10,5042
3	-45,906	-4,004	-0,162	3	184,052	27,86	1,96514
6	-78,062	-6,829	0,205	6	35,953	7,5869	0,64788
9	-112,653	-9,853	0,440	9	22,58	5,6938	0,27658
Roh:				Roh:			
Mocnost nadloží nad kolektorem	N [kN/m]	Q [kN/m]	M [kNm/m]	Mocnost nadloží nad kolektorem	N [N/m]	Q [N/m]	M [Nm/m]
1	-58,293	52,032	-15,921	1	188,131	87,314	29,747
3	-78,997	69,110	21,211	3	145,326	38,947	20,196
6	-116,444	95,990	-30,624	6	50,36	1,663	6,481
9	-153,145	126,062	-40,066	9	32,66	4,06	5,704



Graf 4 Zobrazení rezervy při kvazistatickém zatížení.

Závěr

Dynamická odezva od tramvajové dopravy je velice malá (Kaláb, 2007) a nemá vzhledem k celkovému zatížení dopravou zásadní vliv na změnu napjatosti ve výztuži kolektoru. Pokud bychom přece jen chtěli dynamické účinky tohoto druhu a jejich velikosti do výpočtu zaimplementovat, je dostačující nahradit dynamické působení dynamickým součinitelem γ_a , případně součinitelem dynamického zatížení δ_i , kterými zvýšíme statické zatížení tramvají. Při stanovení γ_a je však nutné znát zdrojovou hodnotu maximálního zrychlení kmitání. Tato veličina se však dá pro různé druhy seismického zatížení experimentálně změřit a na základě zkušenosti tabelizovat. Proti součiniteli δ_i hovoří skutečnost, že jeho velikost neodpovídá reálnému roznosu dynamického působení v zemině a z něj vyplývající kvazistatické zatížení je zbytečně neúměrně vysoké.

V poslední části matematického modelování byla vyšetřována vhodnost přenásobení objemových tíh γ zemin v nadloží kolektoru součinitelem γ_a . Výsledky však dokazovaly, že touto úpravou dochází k nereálnému zvýšení zatížení na výztuž kolektoru.

Tento výsledek byl získán za finančního přispění MŠMT ČR, projekt IM6840770001, v rámci činnosti výzkumného centra CIDEAS.

Literatura

- [1] Manuál programu PLAXIS 2D – verze 8.
- [2] Kaláb, Z. (2007): Mělká podzemní díla a vibrace. Tunel, roč. 16, č.2/2007, 12-20.
- [3] Kaláb, Z., Marek, R. & Stolárik, M. (2007): Zohlednění dynamických účinků kmitání k dimenzování ostění kolektoru, sborník Zpevňování, těsnění a kotvení horninového masivu a stavebních konstrukcí 2007, VŠB-TU Ostrava, ISBN 978-80-248-1291-5.
- [4] Luňáčková, B. (2007): Stanovení odezvy horninového prostředí a podzemního díla na dynamické zatížení způsobené beraněním štětovnic, sborník Juniorstav 2007, VUT Brno, ISBN 978-80-214-3337-3.
- [5] Norma ČSN 73 6203 (1986, 1989-změna b) - Zatížení mostů.